

Tomasz Stechnij

O paradoksie bliźniąt

Zeszyty Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Witelona w
Legnicy 7, 95-120

2011

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach
dozwolonego użytku.

Tomasz Stechnij

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Witelona w Legnicy,
Wydział Zarządzania i Informatyki

O paradoksie bliźniąt

Artykuł popularyzatorski

dedykowany tym, co lubią fizykę, czyli chyba nie nikomu

*Pamięci pewnego człowieka, który odszedł 13 czerwca
2010 roku, był bardzo dzielny całe życie, a najbardziej
w ostatniej chwili*

STRESZCZENIE

Publikacja zawiera elementarny opis kluczowych pytań szczególnej teorii względności Alberta Einsteina (1879–1955). Celem i zamiarem owego skromnego eseju jest popularyzacja fizyki jako fundamentalnej nauki przyrodniczej, w której zbiega się większość naukowych torów myślenia. Ukazane zostały podstawowe koncepcje relatywistyki Einsteina: przekształcenie Lorentza oraz pozostałe aspekty dylatacji czasu. Zaznaczono także szereg problemów filozofii nauki. Motywacją autora jest powrót do rdzennie przyrodniczego myślenia, analizowania zjawisk, fenomenów. Współczesność, niestety pełna jest tzw. „racji” zamiast zasad, a także „prawd” przegłosowywanych na wiecach, a nie odczytywanych z przyrody. „Względność”, wszechobecna we współczesnej postmodernistycznej strukturze cywilizacji, niewiele ma wspólnego, poza semantyką, z teorią względności. Z punktu widzenia nauki istotne są te racje, których człowiek nie uformował we własnym umyśle, ale które jego krytyczny umysł dostrzegł w przyrodzie.

Słowa kluczowe: popularnonaukowy, teoria względności, Einstein, transformacja Lorentza, podróz w czasie, paradoks bliźniąt.

1. Moja racja

*Mając dwadzieścia lat, myślałem tylko o kochaniu.
Potem kochałem już tylko myśleć.*

Albert Einstein

Zagadnienia poruszone w niniejszej publikacji to ikona nauki, a na pewno pop-nauki. Jak to z ikonami bywa, powstają legendy, zmyślenia, bajki.

Tytułowy temat jest znany, ale bywa, że niezgłębiony... Warto zatem, nie pomijając szczegółów i nie upraszczając nadmiernie, nieco zrozumieć ten kawałek wiedzy o Wszechświecie, którego jesteśmy uczestnikami.

Bez wątpienia autentyczne przyjęcie do wiadomości faktów, o których będzie mowa, może powodować napięcia. Osobiście znam tezy A. Einsteina od lat i autentycznie się oswoiłem. W treści opracowania zawartych jest wiele fragmentów interdyscyplinarnych, co powinno ułatwić zrozumienie przełomowego dla filozofii nauki nowego relatywistycznego sposobu widzenia przyrody.

Mam nadzieję, że Czytelnik przebrnie przez rozumowanie, które na wiele sposobów *de facto* zmierza ku jednolitym wnioskom.

2. Racja fizyka

Racja fizyka, Kaśka butów nie ma.

Józef M. Bocheński

Rzecz się ma następująco: dwaj bracia bliźniacy, Jacek i Placek udali się na dworzec astronautyczny. Jacek wsiadł do statku kosmicznego, pomachał przez luminofor na pożegnanie i odleciał. Odbył długo trwającą (według rozkładu jazdy na tablicy ogłoszeniowej dworca astronautycznego) w przeróżnych rejonach najbliższego Wszechświata podróż z różnymi prędkościami względem Ziemi, ale często były one $\approx 299\,792\,458$ m/s, po czym powrócił na naszą planetę – do Placka.

Niby nic takiego się nie stało, to przecież jak 2 lata rejsu trójmasztowcem wokół globu, po powrocie bracia są o 2 lata starsi, wesoło gaworzą przy golonce z chrzanem i oglądają fotografie z podróży – a jednak *w s z y s t k o* wskazuje na to, że nie!

A teraz jak zwykle od początku

Zacznijmy od fizykalnego faktu, że świat poznajemy my, ludzie, a nie np. ślimaki. Ponadto poznajemy go aparatem, który posiadamy, a jest tak, że podstawowym sygnałem, jaki odbieramy, jest światło, później dźwięk i inne. Z aspektu fizyki najważniejszym nośnikiem informacji (bodźcem) jest światło, fizjologicznie obsługiwane wzrokiem. Tak już jest i to jest nasz świat; niekoniecznie taki jest świat, ale my takim go obserwujemy, bo taki mamy umysł oraz jego uzbrojenie – zmysły. Gdybyśmy byli niewidomi – wszyscy bez wyjątku, n a s z ś w i a t (bo nie świat) zapewne wyglądałby w odbiorze inaczej... Podstawowym narzędziem poznania byłby sonar, aktualnie jest to kamera. U ślepego i głucheego psa przede wszystkim węch – no i jak wtedy zbudować kinematykę?!

W fizyce ukutym jest pojęcie **obserwatora**, które to w swoim źródłosłowie zawiera odwołanie do zmysłu wzroku, tak więc fizyk to przede wszystkim „wzrokowiec”.

Oczywistość tych spostrzeżeń (znów oko + światło) jest oczywista! Zatrzymując się jednak nad oczywistościami, możemy niejednokrotnie dostrzec (znów oko + światło) głębokie cechy przyrody.

Co to zatem znaczy **dostrzec, zaobserwować**? To znaczy zarejestrować pewien stan umysłu będący wynikiem działania światła (czym ono jest – pomijamy, wiemy, że na nas działa).

Obserwator odczytał napięcie woltomierza, wyniosło 7V; obserwator dostrzegł na radarze wrogi samolot; astronom ujrzął kometę w konstelacji Byka. Przytoczone tu zdarzenia to oddziaływanie między człowiekiem a zjawiskiem, kluczowym nośnikiem wiedzy o tych zjawiskach jest światło.

Światło jest strumieniem cząstek – taką definicję przyjmijmy. Wszystkich oponentów, zwolenników głębszej polowej, bardziej elektromagnetycznej wersji definicji światła uprasza się – na razie – o uprzejmą zgodę na naszą definicję.

Przypuśćmy, że jesteśmy na mistrzostwach w futbolu. Jeżeli w meczu piłkarskim zaszło zdarzenie gola, to wysła ono w stronę obserwatora strumień cząstek (nazywanych *fo t o n a - m i*), powodując u niego pewien stan umysłu, mianowicie zaobserwowanie gola. Zazwyczaj wszyscy na stadionie twierdzą, że jednocześnie i razem widzieli to, co widzieli: gol!

Światło, czyli fotony przemieszczają się w przestrzeni z pewną ograniczoną prędkością, wynosi ona 299 792 458 m/s w próżni absolutnej. Jest to fakt (potwierdzona stała) fizyczny, który Czytelnik musi przyjąć do wiadomości (oczywiście warto to sprawdzić). Z oczywistych zatem powodów nie może foton od piłki do oka obserwatora dolecieć natychmiast, niezwłocznie. Widzowie sportowego spektaklu siedzą w różnych odległościach od piłki, każdy z (powiedzmy) 60 tys. widzów w innej. Wniosek: gol jest zjawiskiem względnie nierównoczesnym, każdy z widzów obserwatorów zauważy go po różnym czasie ($t_1, t_2 \dots t_{60\,000}$) od faktu zaistnienia w bramce. Rzec można, każdy obserwator widzi „swojego” gola w swoim czasie (pada 60 tys. goli). Jeżeli ziemski mecz obserwowalibyśmy na planecie Uran, to sygnał telewizyjny, który (tak się składa) porusza się z prędkością identyczną jak światło (będziemy oznaczać ją c), dotarłby do nas w czasie $t_u \approx 2\text{h}40'$. Czyli nasz gol był „innym” golem niż ziemski, z naszego (fotel na Uranie) punktu obserwacji stwierdziliśmy, że na stadionie bramka padła o 2h40' później. Więc gol padł o 10:00, czy o 12:40 – jak to rozumieć? Inne pytanie do samodzielnej analizy: czy jest jakiś sposób, aby powiadomić o bramce kibica na Uranie, bez zwłoki, natychmiast, równocześnie ze zdarzeniem na ziemskim stadionie?

Rozważania powyższe są prawie oczywiste, zachęcamy jednak do ich dalszego samodzielnego rozpatrywania. W codzienności ignorujemy owe fakty, prędkość światła, $c \approx 1\,080\,000\,000$ km/h, co dla nas, istot dość powolnych, jawi się jako nieskończoność! Przeciętną obserwację zdarzeń rejestrujemy jako natychmiastową i równoczesną dla obserwatora stojącego obok.

Ale jest tak, że $c \neq \aleph_0$ ¹. Gdyby świat był przez nas przede wszystkim nasłuchiwany, a nie obserwowany, rozważania owe byłyby bardziej oczywiste i w sumie są, bo przecież każdy może w górach, lesie czy nad jeziorem krzyknąć i usłyszeć własne echo...

A teraz już fizyka

Spróbujmy nieco uściślić nasze rozumowanie. Postawmy problem dwóch stadionów: jeden na Ziemi, a drugi na Uranie. O godzinie 17:00 czasu ratuszowego w Krakowie mają rozpocząć się mecze na obu stadionach. Jak to zrobić? Proste, na $t_u = 2,66$ h przed ziemską ratuszową 17:00 wysłać w kierunku Uranu sygnał z komendą: zaczynamy! Wyobraźmy sobie, że na obu planetach (stadionach) są zegary, są też komentatorzy sportowi, którzy je obserwują i śledzą mecz. Mają także monitory, na których z opóźnieniem obserwują drugie spotkania.

Pytanie: jak obserwować oba mecze równocześnie bez przesunięcia w czasie, tak aby na monitorach widzieć np. 17. minutę, sekund 5 jednego i drugiego meczu łącznie? Odpowiedź: usiąść pośrodku, w połowie drogi Ziemia–Uran, wówczas to zdarzenia zachodzące na obu planetach będą docierały do nas z jednakowym opóźnieniem, czyli będą obserwowane jako równoczesne, na monitorach w prawym górnym rogu ekranu ujrzemy dokładnie ten sam czas, np. 17. minutę meczu, sekund 5. Zdarzenia nadal są obserwowane z przesunięciem czasowym, ale są równoczesne dla obserwatora trzymającego równy dystans od stadionowych zegarów (ryc. 1).



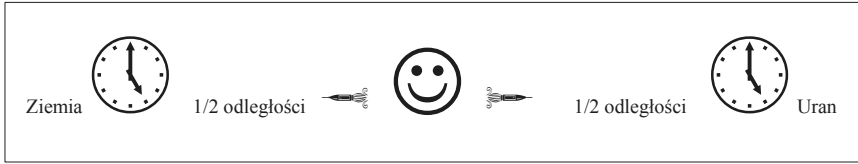
Ryc. 1. Względna równoczesność zdarzeń

Źródło: opracowanie własne.

Doszliśmy do zagadnienia *synchronizacji zegarów*. I nie jest to bynajmniej wyważanie otwartych drzwi. Zazwyczaj mówimy, że dwa zegary są zsynchronizowane, gdy pokazują ten sam odczyt. Po rozważaniach na poprzednich stronach wiemy, że znaczenie słowa „synchronizacja” i „ten sam” albo straciło sens, albo nabrało nowego... Zauważmy, dwa zdarzenia nazwiemy równoczesnymi (zsynchronizowanymi) wtedy, gdy obserwator znajdujący się dokładnie w połowie odległości pomiędzy nimi dozna tego samego stanu obserwacji. A jak zsynchronizować dwa odległe zegary? Należy, będąc w równej odległości od obu, wysłać impulsy synchronizujące (np. 2 rakiety) o identycznych prędkościach. Znając

¹ \aleph_0 – czytaj „alef zero”, hebrajska litera oznaczająca tutaj moc zbioru liczb naturalnych.

odległości i prędkości, możemy obliczyć przesunięcia odczytów czasów z zegarów na Ziemi i Uranie, czyli zsynchronizować zegary.



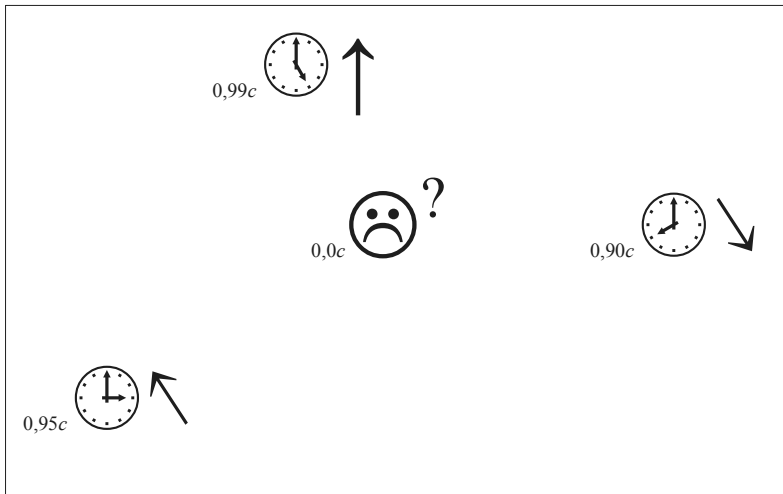
Ryc. 2. Synchronizacja zegarów

Źródło: opracowanie własne.

Warto zastanowić się, Szanowny Czytelniku, jak zsynchronizowałbyś trzy zegary (ryc. 3) poruszające się z prędkościami przyświatelnymi w różnych kierunkach płaszczyzny albo nawet przestrzeni. Wyniki rozmyślenia nad tym zagadnieniem są zdumiewające!

I jeszcze trzy definicje porządkujące pojęcia:

Z e g a r jest to układ, który wytwarza policzalne zdarzenia, po wytworzeniu zdarzenia wraca do stanu początkowego. Jest zatem układem pracującym cyklicznie. Mówiąc o czasie, mamy na myśli ilość „tyknięć” zegara. Nie zastanawiamy się (jeszcze), co to jest czas, ale tyknięcia umiemy policzyć. Z poprzednich rozważań wynika bardzo istotny warunek rzetelnego użycia zegara, musi on znajdować się blisko zdarzenia, tak aby droga światła od zdarzenia do zegara: $ct \cong 0$.



Ryc. 3. Problem synchronizacji trzech zegarów

Źródło: opracowanie własne.

Przypomnijmy, inercjalny układ odniesienia to taki, którego wektor prędkości jest niezmienny (czyli ma stałą wartość prędkości, kierunek i zwrot). Jest to twór wyidealizowany, matematyczny, fizycznie nieistniejący. W niniejszej publikacji domyślnie mówimy o układach inercjalnych i ruchu rozumianym jako jednostajny prostoliniowy. Czytając niniejszy artykuł, wydaje nam się, że jesteśmy układem spoczywającym, tylko co to znaczy „spoczywamy”?

Intuicja mówi, że prędkość c to to samo co v rowerzysty czy lokomotywy, a jednak nie! Prędkość c jest na szczególnych prawach, co należy teraz stanowczo powiedzieć. To, że światło w próżni zawsze porusza się z bezwzględną wartością c , jest udowodnione bezspornie – doświadczalnie. Konsekwencją tego jest niemożność klasycznego dodawania wektorów prędkości poruszających się ciał, gdyż światło zawsze porusza się względem „swojego” układu z prędkością światła, nie może zatem poruszać się np. z prędkością $3c$. Reguła „osobista” dowolnego układu fizycznego brzmi: „Nic nie może poruszać się szybciej od światła, względem mnie”. Wyprowadzając na kolejnych stronach wzór na dylatację czasu w przekształceniu Lorentza, będziemy korzystać z tego fundamentu oraz z równoważności układów poruszających się względem siebie ruchem jednostajnym. Dlaczego tak jest, że c jest w przyrodzie uprzywilejowane – a to już pytanie metafizyczne, w fizyce zazwyczaj nie chodzi o odpowiedź na pytanie „dlaczego”, tylko na „jak”?

Transformacja² Lorentza³

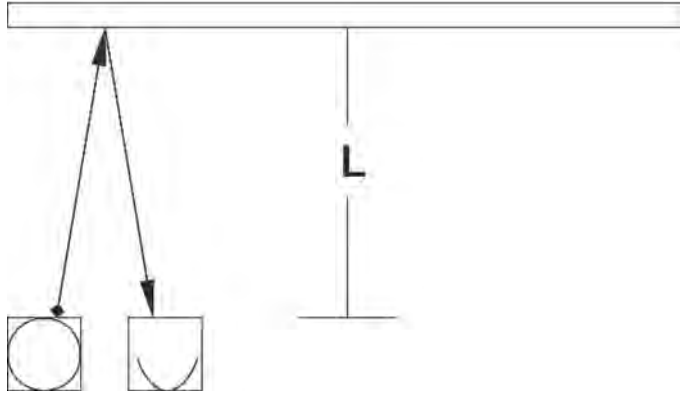
Przeprowadźmy teraz następujący eksperyment myślowy:

Z ruchomego źródła światła (np. latarki jadącej jednostajnie po prostej) wylatuje sygnał świetlny i dolatuje do lustra naprzeciwko, po czym wraca do odbiornika (oka). Ile to będzie trwało? Oczywiście (ryc. 4) dwukrotnie L/c , czyli jakiś czas T' (tyle czasu – 1 tyknięcie poczekamy na odbiór światła od momentu jego wysłania z latarki) w układzie (z punktu widzenia przesuwanej w prawo latarki) poruszającym się to:

$$T' = \frac{2L}{c}. \quad (1)$$

² Transformacja – z łaciny *transformatio*, znaczy przekształcenie, przeistoczenie.

³ Lorentz Hendrik (1853–1928), Holender, noblista z dziedziny fizyki.



Ryc. 4. Doświadczenie myślowe H. Lorentza

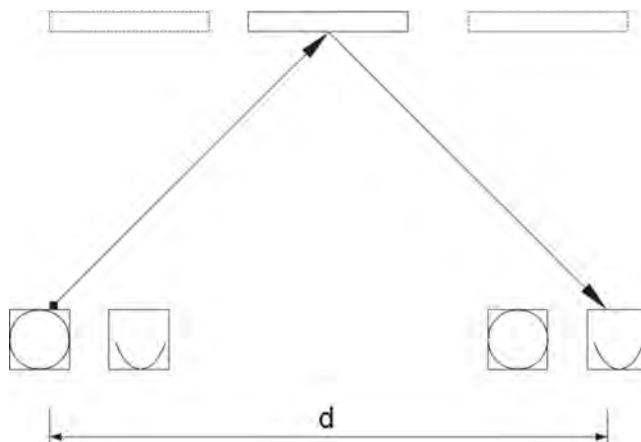
Źródło: opracowanie własne na podstawie [Szymacha 1985].

Precyzując sprawę, należy powiedzieć, że czas (oznaczymy go T) w układzie spoczynkowym (obserwacja sytuacji z punktu widzenia nieruchomego układu) będzie zależny od długości boku trójkąta h , a nie od jego wysokości L .

$$T = \frac{h}{c} + \frac{h}{c} = 2 \frac{h}{c}. \quad (2)$$

Zwróćmy uwagę na tę oczywistą różnicę, jest to moment kluczowy. Analogiczny eksperyment możemy przeprowadzić z piłką koszykową, z którą biegniemy. Jaki tor lotu z naszego punktu obserwacji wykonuje piłka? A jaki tor dostrzeże obserwator siedzący na ławce przy ścianie sali?

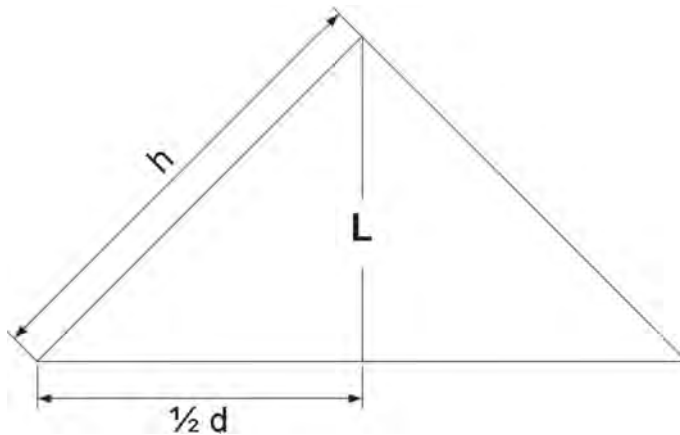
Cały układ (latarki, palca i oka) porusza się w prawo (ryc. 5). Przebył więc pewną drogę $d = vT$.



Ryc. 5. Przesunięcie układu źródła światła

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Szymacha 1985]

Dalej (ryc. 6) znajduje się trójkąt prostokątny, który podsumowuje całe zjawisko, trzeba go jedynie rozwiązać, co potrafiliby już pitagorejczycy.



Ryc. 6. Ilustracja do obliczenia dylatacji czasu

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Szymacha 1985]

$$h^2 = \left(\frac{1}{2}d\right)^2 + L^2 - \text{twierdzenie Pitagorasa.}$$

ale: $T = \frac{2h}{c}$, $d = vT$, $h = \frac{cT}{2}$ i oczywiście $\frac{1}{2}d = \frac{1}{2}vT$.

Z poprzednich (ryc. 4 i 5) ilustracji wynika, że:

$$T' = \frac{2L}{c}, \quad L = \frac{cT'}{2}.$$

Ostatecznie po podstawieniu otrzymujemy:

$$\left(\frac{cT}{2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}vT\right)^2 + \left(\frac{cT'}{2}\right)^2.$$

Rozwiązując równanie ze względu na T uzyskujemy:

$$T = \frac{T'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad v < c \quad . (3)$$

Wyprowadziliśmy jeden z najważniejszych wzorów (dylatacja⁴ czasu w przekształceniu Lorentza) neoklasycznej fizyki, co – jak widać – nie było trudne! Zadziwiające jest, iż takie rozumowanie mógł przeprowadzić Pitagoras (były wówczas zwierciadła, konie, wozy, światło i matematyka), mógł też wielki Newton, mógł każdy z nas, a jednak ta „oczywista oczywistość” dotknęła dopiero umysły Lorentza, Poincarego, Michelsona, Einsteina i może kilku innych. Prowadził je już w 1843 roku Doppler, ale jego wnioskowanie poszło w kierunku zmiany długości fali. Podobne rozważania można poprowadzić z piłeczką tenisową odbijającą się od ściany oraz biegającym wzdłuż i w poprzek kortu tenisistą.

Po co jednak to zrobiliśmy („a po co nam to wszystko”)? To pytanie dla niektórych bywa denerwujące, inni czasami trzaskają drzwiami...

Odpowiedzmy: Możemy obliczyć, o ile różni się odczyt czasu trwania tego samego zdarzenia pomiędzy obserwatorem z zegarem poruszającym się z prędkością v , a spoczywającym względem niego innym obserwatorem również uzbrojonym w zegar.

Owo T ruchu światła (rozumianego fenomenologicznie, jako zjawisko) to jest pojęcie czasu w sensie fizyki zjawiska. Wyprowadziliśmy zależność między obserwowanymi wzajemnie odczytami zegarów w dwóch poruszających się względem siebie układach. Jak widać, odczyty te będą różne. Omawiane równanie nr 3 opisuje przesunięcie czasu jako parametru ruchu; przy prędkościach bliskich c opisuje opóźnienie rejestracji impulsu świetlnego jednego układu względem drugiego, w konsekwencji opisuje przesunięcia wskazań zegarów poruszających się w układach inercjalnych.

W tym miejscu odpowiemy częściowo na fundamentalne pytanie: Czym jest czas? W omawianym zagadnieniu pojęcie to jest inne niż zwyczajowo nabyte. Jest to parametr sygnału, jego przebiegu. Zasadniczo mówimy o czasie pokonania danej drogi przez foton (sygnał). Czas (tak to coś nazywamy) odnosi się tutaj nie do pojęcia abstrakcyjnego czy absolutnego, ale do względnego rejestrowania wskazań zegarów jednego układu w drugim układzie. Pomyślmy jak fizyk, obserwator świata, prozaicznie – czas to jakieś coś będące argumentem funkcji drogi $s(t)$ opisującej błysk świetlny i – jak się okazuje – takie rozumienie czasu jest wystarczająco uniwersalne i wyczerpująco proste; miast tysięcy stron poematów i traktatów popełnionych na temat czasu przed rokiem 1905 (gdyż wtedy to Albert Einstein opublikował rozważania, które tutaj prowadzimy, zawarte w ramach szczególnej teorii względności).

Dygresje do zastanowienia: jeśli (hipotetycznie) $v > c$, to wyrażenie podpierwiastkowe (wzór 3) jest ujemne, jaki i czy to ma sens fizyczny? W tym miejscu zachęcamy do zainteresowania się Hermanem Minkowskim oraz ponownego zastanowienia się, czy czas jest typowym skalarem. Przeanalizujmy ponadto, że w granicy, gdy $v \cong c$ zegary dla obserwatorów „zatrzymują się”, a gdy założymy zgodnie z mechaniką klasyczną, że $c \rightarrow \infty$, otrzymamy zrównanie odczytów zegarów $T = T'$, czyli brak efektu przesunięcia. Gdy $v \ll c$, problem

⁴ Łacińskie *dilatatio* znaczy zwłoka.

„znika”. Wracamy do tzw. przekształcenia Galileusza, które co prawda uwzględnia różnice prędkości, ale czas jest obligatoryjny i ten sam dla wszystkich układów, $T \equiv T'$. Po co odступujemy od przekształcenia Galileusza? Bo v układu może być bliskie c , a c jest skończone.

Analogią jest motocyklista jadący wzdłuż nasypu kolejowego ze stałą prędkością, np. 50 km/h, względem skarpy i „goniący” pociąg poruszający się ze stałą prędkością, powiedzmy 100 km/h. Dokonując pomiaru czasu (z poziomu wagonu albo motocykla) od jakiejś chwili własnej t_1 do t_2 , możemy zastosować równania liczące dylatację czasu:

$$T_{motocykla} = \frac{T'_{pociagu}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ oraz } T_{pociagu} = \frac{T'_{motocykla}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4)$$

Dylatacja jest symetryczna! A zatem z punktu widzenia pociągu odczyt czasu wydłużył się u motocyklisty, ale również z punktu widzenia motocyklisty odczytane wskazanie czasu było przesunięte, wydłużone (zegar tykał wolniej) w pociągu. Każdy porównuje wyniki ze swojego punktu widzenia!

I proszę, nauka nie zawsze potrzebuje od r a z u „trudnej” matematyki (o ile matematyka jest trudna?), ale zawsze potrzebuje zmyślnego koncygowania i wyobraźni. Szczególna teoria względności nie jest trudna do pojęcia i nie wymaga wielkiej abstrakcji, jest to taka nieco docieklawiej roztrząsana kinematyka Newtona.

A teraz bliźniaki

Klasyczna formuła dylatacji czasu ma (znaną nam już) postać:

$$T' = T \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow T = \frac{T'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Przy pewnych (poprzednio zreferowanych) założeniach jest ona prawdziwa. Ale zazwyczaj bywa błędnie rozumiana, upraszczana i dlatego zgubna we wnioskowaniu...

Obliczenia takie dotyczą pewnego „wyciętego” odcinka drogi oraz odczytów własnych zegarów dwóch inercjalnych układów i nie są precyzyjnie adekwatne do zagadnienia bliźniąt, które jest naszym tytułowym tematem.

Rozwińmy teraz typowe szkolne zadanie (jest w niejednym zbiorze):

Nasz brat – Astronauta odleciał w rakiecie poruszającej się z prędkością wynoszącą $0,8c$ względem Ziemi. Ile lat upłynęło na Ziemi, jeżeli w statku kosmicznym minęło (T') 30 lat (ale jakich?).

$$T = \frac{30}{\sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}}} = \frac{30}{\sqrt{1 - \frac{0,64c^2}{c^2}}} = \frac{30}{\sqrt{1 - 0,64}}, \quad T = \frac{30}{\sqrt{0,36}} = \frac{30}{0,6} = 50$$

Odpowiedź: Na Ziemi upłynęło 50 lat.

Rozwiązanie zadania zawiera następujące uproszczenie: zakłada, że oba układy braci poruszają się względem siebie ruchem jednostajnym prostoliniowym, jakby ten stan rzeczy był już zastany, ukształtowany, istniał dla potrzeb naszego zadania tekstowego (co nie jest prawdą – sytuacja musi się rozwijać, niezbędne są przyspieszenia, zmiany kierunków, prędkości etc.).

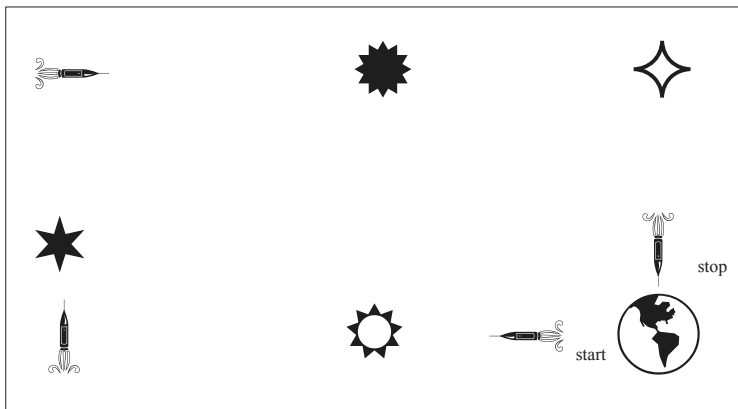
Szkolne ujęcie opisane powyżej nie oddaje precyzyjnie sensu zjawiska mającego miejsce w przypadku Jacka i Placka, ujmuje sytuację jakby była statyczną, gdzie występuje jedynie jedna prędkość oraz jakiś absolutnie naliczony odcinek czasu, np. 30 lat. Wykonywane „statyczne” obliczenie relatywistycznego wydłużenia czasu jest dużym uproszczeniem, które zmienia sens fizyczny rozpatrywanej sytuacji. Tymczasem jest nieco inaczej.

Modelowe zadanie jest prawdziwe, ale tylko w wyidealizowanym przypadku, gdy dwa układy inercjalne, już rozpedzone, poruszają się jednostajnie i prostoliniowo (bez wirowania) wzdłuż wspólnej osi, np. x . Prędkość jednego względem drugiego wynosi $0,8c$ i nikt nie zawraca.

Rzeczywiście tak rozpatrując kwestię Jacka, i Placka i jeden, i drugi jest starszy/młodszy. Czy to może być prawdą? O tym dalej.

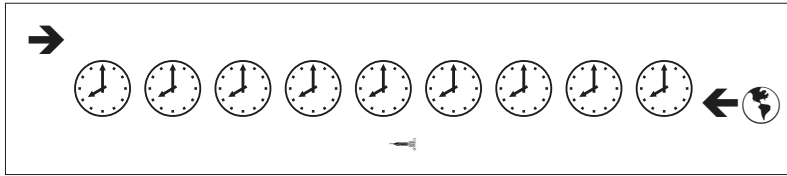
A teraz trochę formalnie

Plan lotu kosmonauty przedstawia rycina 7, model planu lotu rycina 8. Wyobraźmy sobie linię wielu zsynchronizowanych bliskich sobie zegarów, położonych na odcinku pewnej drogi, np. $s = ct = 1$ m (czyli $t = 3,33$ ns). Wzdłuż tej linii porusza się punkt (rakieta) ze zmiennym v , średnio bliskim c . Obserwatorzy znajdują się w zegarach oraz jeden obserwator w poruszającym się punkcie. Każdy z zegarów jest w bardzo bliskim (ze względu na $v \cong c$) sąsiedztwie innego. Wszyscy obserwatorzy notują, odczyty mogą różnić się zaledwie o $\Delta t \approx 3,33$ ns. Uszeregowane wyniki ich obserwacji tworzą kolejną oś zegarów *prim* (ryc. 9).



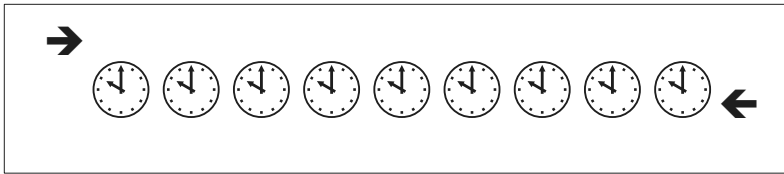
Ryc. 7. Lot kosmonauty pośród gwiazd

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 8. Model krótkiego odcinka lotu

Źródło: opracowanie własne.

Ryc. 9. Zestaw zarejestrowanych obserwacji po przelocie rakiety, układ *prim*

Źródło: opracowanie własne.

Układ zegarów jest inercjalny. Układ lecącego punktu (czyli rakiety) nie. Jednak punkt poruszający się w granicy przebywa w pobliżu każdego z zegarów, tak iż ich prędkości wyrównują się $v = v'$, a obserwatorzy „w zegarach”, znajdując się co 1 metr, mogą dokonać pomiaru.

Wróćmy teraz do przekształcenia Lorentza, które z definicji dotyczy jedynie układów inercjalnych:

$$T = \frac{T'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Załóżmy, że rozpatrujemy przedziały (odcinki) czasowe przelotu punktu ΔT i $\Delta T'$. Wycinamy zatem pewien fragment zdarzeń (postrzeganych względnie) pomiędzy t_2 i t_1 . $\Delta T = t_2 - t_1$ oraz $\Delta T' = t'_2 - t'_1$. A zatem:

$$\Delta T = \frac{\Delta T'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \Delta T' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Delta T$$

Relacja jest tym dokładniejsza, im przedział (interwał⁵) czasowy jest krótszy. $\Delta T \rightarrow 0$ i $\Delta T' \rightarrow 0$, co daje postać różniczkową:

⁵ Po łacinie *intervallum* znaczy przerwę, odległość między dwoma punktami.

$$dt' = \sqrt{1 - \frac{v^2(t)}{c^2}} dt. \quad (5)$$

Założyliśmy, że nasze rozpatrywane przyrosty czasu są bardzo małe, a prędkość v zależy od czasu t , jest to niestalość ruchu statku kosmicznego.

Chcąc obliczyć całkowitą dylatację czasu tak sformułowanego przypadku, całkujemy obustronnie równanie 5 i otrzymujemy:

$$\int_0^{T'} dt' \approx \int_0^T \sqrt{1 - \frac{v^2(t)}{c^2}} dt \quad T' \approx \int_0^T \sqrt{1 - \frac{v^2(t)}{c^2}} dt. \quad (6)$$

Całka z równania 6 (formalnie nie jest to całka Riemanna, toteż użyto symbolu \approx) ukazuje sumę czasów własnych wszystkich stowarzyszonych chwilowo zegarów. Symbol $v(t)$ jest prędkością punktu, a nie układu odniesienia! Zegary nie mogą być związane z punktem w ruchu (naliczanie czasu własnego rakiety), gdyż on przyspiesza, działają siły. Pomiar z zegara sztywno związanego z ciałem byłby nierzetelny, wpływ przyspieszenia (układ nie jest inercjalny) – brak spełnionych postulatów początkowych transformacji Lorentza, przestajemy poruszać się na polu kinematyki, a zaczynamy na polu dynamiki. Aby obliczyć czas własny punktu, całkujemy (czyli wysumowujemy) przedziały czasowe pomiarowej linii zegarów. Jest to sumowanie czasów zegarów inercjalnych, chwilowo stowarzyszonych z lecącym (układ nieinercjalny) punktem.

Odmierzamy zatem czas własny obiektu poprzez zegary układów, które obiekt mija, poruszając się, o ile znamy funkcje $v(t)$. W tym sensie jest to (równanie 6) następująca zależność:

$$T' \approx \int_0^T \sqrt{1 - \frac{v^2(t)}{c^2}} dt.$$

Bliźniak Jacek przyspiesza, a Placek jest „inercjalny i siedzi na Ziemi”. Jedyne gdy przyspieszenie jest małe i ma niewielki wpływ na chód zegara poruszającego się, można go (zegar) wiązać sztywno z układem poruszającym się (czyli układ jest wtedy infinitezymalnie inercjalny). Dlatego zastosowaliśmy tok myślenia, który pozwolił „pozbyć” się problemu przyspieszenia.

Jak można wywnioskować z rozważań o bliźniakach, jedyne, co jest bezwzględnie mieralne, to przyspieszenie, a zatem także siły przez nie wywołwane (wciskanie Jacka w fotel gdzieś w okolicach Andromedy, kiedy „dał gaz w podłogę” po porannym postoju na śniadanie). Prędkości, czasy, ruch są niewyznaczalne. Ruch z przyspieszeniem nie jest względny (jak jednostajny bez przyspieszeń), ten, kto przyspiesza (doznaje sił bezwładności), porusza się.

Zilustrujmy to następującą analizą: jesteśmy w stanie zmierzyć przyspieszenie w sposób absolutny, ale nie możemy zmierzyć absolutnej prędkości czy położenie. Pomimo że znając funkcję położenia (ogólnie mówiąc drogę s), wyznaczymy prędkość:

$$\frac{ds}{dt} = v,$$

a znając prędkość, wyznaczymy przyspieszenie:

$$\frac{dv}{dt} = a.$$

Cóż zatem takiego trudnego, znając przyspieszenie, wyznaczyć v i s ? A jednak, z pochodnej funkcji (co, miejmy nadzieję, każdy wie), nie można wyznaczyć funkcji w sposób jednoznaczny! Stała całkowania ma tutaj niebagatelne znaczenie fizyczne, zwłaszcza że operujemy na polu zjawisk relatywistycznych.

Podsumowując stan rzeczy, można rzec, że zgodnie ze szczególną teorią względności z punktu widzenia Placka, pozostającego cały czas na Ziemi, upływ czasu w rakiecie był spowolniony. Jeżeli Placek czekał na brata czas T (liczony jakimiś jednostkami „wewnętrzny” układu Placka, np. stoperem w jego kieszeni), to według niego podczas całej podróży kosmicznej Jacka aż do momentu jego powrotu upływ czasu w rakiecie powinien wynosić:

$$T' \approx \int_0^T \sqrt{1 - \frac{v^2(t)}{c^2}} dt < T,$$

gdzie $v(t)$ jest zmienną (co bardzo ważne!) w czasie t prędkością statku, c – stałą, która wynosi 299 792 458 m/s.

Podkreślimy stosowane konsekwentnie oznaczenia. T' to czas płynący w statku kosmicznym (czyli układzie poruszającym się). T to czas spoczynkowy, płynący na Ziemi z punktu widzenia Ziemi oraz linii zegarów (ryc. 8).

Zegar

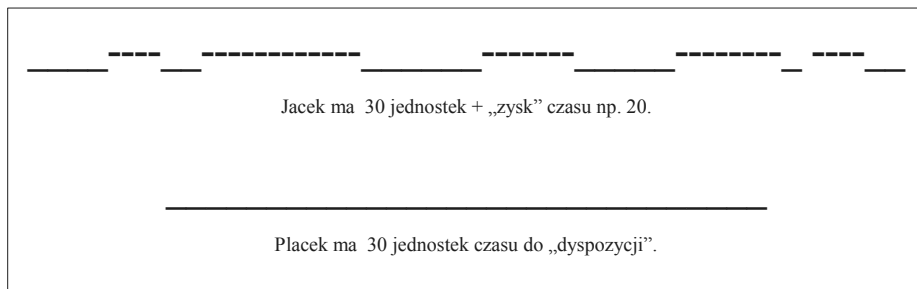
Należy zadać pytanie wprost dotyczące rozumienia omawianych zjawisk. Mówiąc intuicyjnie: czy spowolnienie zegarów jest realne? Tak. Każdy obserwator realnie widzi to, co widzi, takie ma odczyty zegarów. I to, co widzi, uważamy za realność, o czym była mowa w poprzednich częściach tekstu. Sens teorii nie dotyczy zmiany biegu poruszającego się zegara (jego czasu własnego) – skrót myślowy mówiący o tym, że poruszający się zegar działa wolniej (jakoby „zgestniał”), jest zwodniczy! W zakresie swojego własnego układu inercjalnego każdy zegar chodzi identycznie. Ale pomiar odstępów czasowych pomiędzy zdarzeniami już identyczny nie jest!

Przykładowo niech zegarem będzie zjawisko rozpadu jądra promieniotwórczego, średni czas (własny) życia jądra w jego układzie będzie zawsze niezmienny, np. $2\mu\text{s}$, ale odczytany przez różnych obserwatorów wyniesie np. $3\mu\text{s}$, $4\mu\text{s}$, $5\mu\text{s}$! Jeżeli nie mamy innych danych o zjawisku (danych dotyczących układów odniesienia) i znamy jedynie owe różne odczyty okresów życia jądra promieniotwórczego, nie jesteśmy w stanie dokonać weryfikacji pomiaru. Nie poznamy czasu własnego rozpadu konkretnego izotopu, ani nawet charakterystyki (typu) izotopu, bo który z czasów rozpadu jest tym „realnym”? Jeżeli jądro rozpadające, hipotetycznie, poruszałyby się z c , to jego $t \rightarrow \aleph_0$, czyli nigdy nie dowiemy się, że się rozpadło, dla nas (jesteśmy „inercjalni”) trwa wiecznie, ale ono samo w sobie już się rozpadło, po $2\mu\text{s}$ nie istnieje. Jednak jego $2\mu\text{s}$ to nasza wieczność, albo nasza „kiepska” wieczność to dla niego $2\mu\text{s}$ moment.

Jednoczesność

Przeprowadźmy teraz rozumowanie oparte na dylemacie równoczesności zdarzeń! O równoczesności (albo nierównoczesności) zdarzeń mowa była już na początku – był to problem stadionów. Wraz ze zmianą parametrów układu, w którym przebywa astronauta Jacek, zmienia się też relacja równoczesności zdarzeń odpowiadająca jego punktowi widzenia. Aspekt równoczesności zdarzeń jest kolejnym kluczem zrozumienia zjawiska, nie jedynie parametry wektora ruchu. Jak za chwilę postaramy się dowiedzieć, poszczególne chwile życia obu braci bywają jednoczesne albo niejednoczesne, zgodne w jednoczesności albo rozbieżne.

Bywały takie momenty życia obu braci, szóste rano, kiedy Jacek stał „zacumowany” i razem (czyli jednocześnie z punktu widzenia nieruchomego obserwatora znajdującego się w połowie drogi pomiędzy nimi) zaczęli się golić. O $6.00 + \acute{I}$ statek Jacka dokonał szybkiego zwrotu w prawo o $\pi/4$ radiana i obrał kurs w kierunku gwiazdozbioru Oriona. Następnie Jacek, wciskając „gaz w podłogę”, spowodował „rozjechanie” się równoczesności golenia. Jacek zyskał czas, który „wypadł mu z ziemskiej rachuby”, wskutek zmian (wartości prędkości oraz przyspieszeń) równoczesności zdarzeń w jego układzie odniesienia. Na Ziemi z kolei czas płynął „swoim rytmem” na stoperze w kieszeni drugiego brata do momentu ich spotkania (czas czekania Placka). Prosta ilustracja zagadnienia równoczesności zdarzeń znajduje się na ryc. 10.



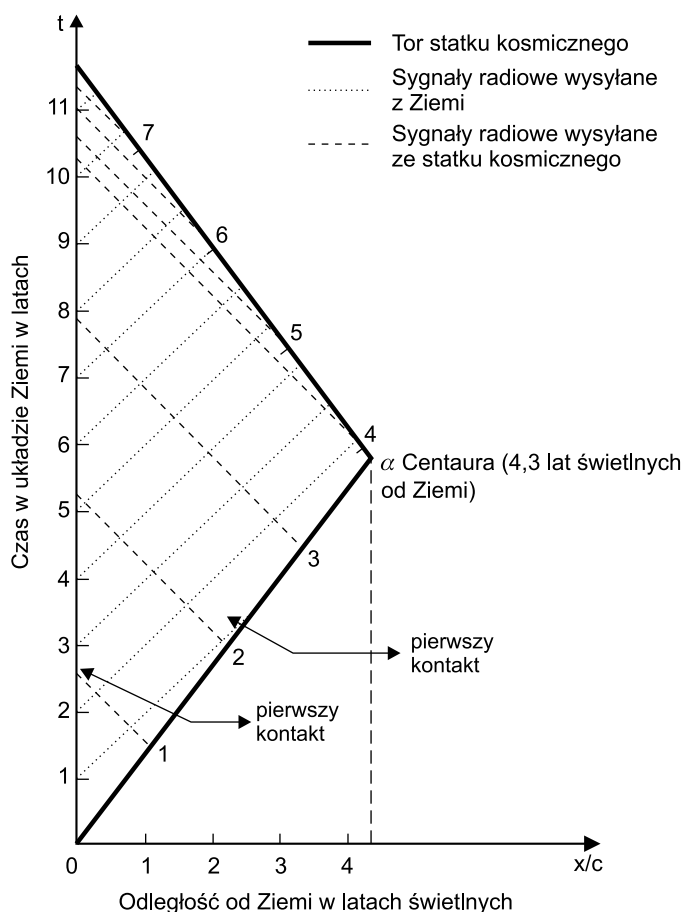
Ryc. 10. Zmiany równoczesności zdarzeń Jacka i Placka

Źródło: opracowanie własne.

Okresy życia Jacka równoczesne (oznaczone $____$) z odpowiednimi okresami życia Placka (oznaczone $____$ lub ---), są odpowiednio pofragmentowane.

Przypatrzmy się innej ilustracji (ryc. 11), pomocnej w zrozumieniu zjawisk równoczesności i nierównoczesności zdarzeń. Na ziemi Placek, posługując się radiem, pozdrawia cyklicznymi (1 raz na rok) impulsami brata (alfabetem Morse'a). Brat odpowiada. Sygnały jednak roz mijają się (oprócz pierwszego, kiedy obaj odbiorą sygnały po czasach własnych wynoszących 2,6) z powodu bliskich światłu prędkości lotu Jacka. Szybkość sygnału radiowego jest bezwzględna stała. Licząc ilość odebranych przez braci impulsów, możemy określić wzajemne przesunięcie czasowe. Diagram wykonany jest przy założeniach $v = 0,745c$ i $T' = 7,7$, a $T = 11,5$. Można samodzielnie wykonać obliczenia weryfikujące jego poprawność.

Warto zwrócić uwagę na zmianę częstotliwości sygnałów po zwrocie statku w kierunku Ziemi i zastanowić się, czym jest ona spowodowana?



Ryc. 11. Diagram kontaktów radiowych braci bliźniaków

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Ugarow 1985].

Rycina 11 (bardzo podręcznikowa) to zwielokrotniony przypadek układu lusterek, dzięki którym wyprowadziliśmy wzór dylatacji czasu (zwróćmy jeszcze raz uwagę) między dwoma inercjalnymi układami poruszającymi się na jednej osi. W diagramie zakładamy (nierealnie), że Jacek momentalnie startuje, później leci ($v = \text{const.}$), natychmiast zawraca, wraca i momentalnie ląduje.

Ale, czy to w ogóle działa?

Łatwo jest zrozumieć następujący fakt. Świat, który widzimy w naszym „teraz”, nie istnieje, skoro np. gromada M13 w Herkulesie jest odległa od nas o 25 100 lat świetlnych, to mogła (z jakiś powodów) już przestać istnieć, a my widzimy jej stan sprzed 25 100 lat, nie widzimy więc tego, co jest równoczesne z uderzeniem dzisiejszej kropli deszczu o parapet naszego domu, widzimy coś, czego już nie ma, ale co wysłało komunikat, że jest i ten komunikat właśnie dotarł.

Na podstawie szczególnej teorii względności wykonywane były (i są nadal) eksperymenty. Jeden z dwóch zsynchronizowanych zegarów atomowych umieszczano w szybkim samolocie, który odbywał długą podróż, po czym wracał na miejsce startu. Okazywało się, iż zegar, który odbył podróż, nieznacznie się opóźnił względem zegara, który cały czas pozostawał nieruchomy. W latach siedemdziesiątych XX wieku Joseph Hafele i Richard Keating wysłali 4 przenośne zegary cezowe w dwukrotną podróż dookoła świata na pokładach samolotów pasażerskich. Stwierdzono opóźnienia, uzyskana niepewność pomiarowa wyniosła 10%. Później fizycy z University of Maryland przeprowadzili podobne doświadczenie z jeszcze większą dokładnością. Dzięki kolejnym, trwającym po 15 godzin, lotom atomowego zegara wokół zatoki Chesapeake zdołali potwierdzić, że wartość dylatacji czasu równa jest wartości przewidywanej przez szczególną teorię względności z niepewnością pomiarową mniejszą niż 1%. Obecnie, gdy zegary atomowe przewozi się z miejsca na miejsce, na przykład w celu kalibracji, uwzględnia się dylatację czasu wywołaną ich ruchem!

Najciekawsze eksperymenty można jednak przeprowadzić w dziedzinie atomistyki, w mikroskali. Badano czas istnienia mionów (jedna z cząstek elementarnych) wytworzonych w górnych warstwach atmosfery. Rejestracja obecności mionów na poziomie morza, gdzie musiały dolecieć, oraz pomiary czasu ich życia udowodniły dylatację czasu. Bez obserwacji zjawiska opóźnienia czasu cząstki uległyby rozpadowi w trakcie drogi, zanim dotarłyby do powierzchni Ziemi, inaczej mówiąc, możliwym jest dla nich pokonanie drogi z górnych sfer atmosfery do powierzchni Ziemi tylko dzięki uzyskanej „premier” czasowej z tytułu przesunięcia. Miony za krótko istnieją i gdyby czas się dla nich nie wydłużał, rozpadłyby się w trakcie lotu. Obliczony „wydłużony” średni czas życia mionów poruszających się z prędkością $0,9994c$ względem laboratorium zgadzał się z empirycznie zmierzonym.

Nie wiadomo, dlaczego mezony się rozpadają i tworzą miony ani dlaczego w ogóle są (pytań o sens istnienia nie zadaje fizyka ale metafizyka), za to wiadomo, że podlegają prawom teorii względności. Analogiczne eksperymenty wykonuje się współcześnie w wielu akceleratorach cząstek elementarnych na świecie. To działa!!!

Antynomie fizyczne? Nie, tylko dydaktyczne

Przybliżyliśmy nieco sens fizyczny modelu „podróży w czasie”. Często zarysowana tutaj sytuacja (postrzegana symetrycznie), opatrywana mianem „paradoksu bliźniąt”, bywa podawana za przykład niespójności logicznej, paradoksu, jakiegoś rozumowania sprzecznego z porządkiem rzeczy.

Paradoksalne jest następujące spojrzenie: Z punktu widzenia Jacka, to Placek cały czas się poruszał i po powrocie, to Placek powinien być młodszy. Ot paradoks?! Nie, raczej błędna dydaktyka.

Układy nie są symetryczne, inercjalne względem siebie. Asymetria powstaje w chwili np. zawracania Jacka, który zmienia układ inercjalny i ma na to dowody empiryczne (przyspieszenia, a zatem siły bezwładności). Z kolei Placek jest stale w tym samym układzie inercjalnym, nie doznaje przyspieszeń!

Błąd w rozumowaniu doszukującym się paradoksu polega więc na niedostrzeganiu, iż układ Jacka nie jest inercjalny (statek musi poruszać się z przyspieszeniami, zmiennymi w czasie prędkościami) i dlatego modelujący zjawisko wzór (3) na dylatację czasu w przekształceniu (transformacji) Lorentza nie jest odpowiedni, jest on statycznie liczoną współczynnikiem T'/T albo na odwrót T/T' (co jest dla fizyki bez znaczenia, najważniejsze jest, jak to rozumiemy i czy rozumiemy). Przy założeniu istnienia układów inercjalnych (idealizm!) jest prawdą, że: $T'/T = \text{const.}$ oraz $T/T' = \text{const.}$ Jacek nie poruszał się ruchem jednostajnym prostoliniowym, wręcz przeciwnie – przyspieszał, zwalniał, skręcał etc., nie spełnił więc warunku dopuszczającego stosowania względem obu układów zasad równoważności dla układów inercjalnych. Sytuacja obu braci nie jest z punktu fizyki zjawiska jednakowa.

Zwróćmy jeszcze raz uwagę na sens wyprowadzonego wzoru (6) całkowitego względem czasu, właściwie (kinematycznie) modelującego problem bliźniąt. Człowiek wymyślił (a może odkrył) matematykę i nie po to operujemy całką, aby było trudniej..., ale po to, aby adekwatniej ukazać rzeczywistość.

W przypadku zagadnienia bliźniąt zastosowanie ma także ogólna teoria względności ujmująca zjawiska z punktu widzenia dynamiki, a nie jedynie kinematyki. Podróżny w Kosmosie będzie doznawał działania sił, gdyż będą miały miejsce przyspieszenia i opóźnienia. Sama kinematyka również wyjaśnia zjawisko; fizyka wymaga jednak dokładnego, a bywa że i powolnego myślenia. Uwagę skupiamy zatem na kinetycznej dylatacji czasu, a nie grawitacyjnej (dynamicznej). „Paradoks” można wyjaśnić bez ogólnej teorii względności, aczkolwiek daje ona pełniejszy obraz.

Podsumowując, dwóch wielkich powiedziałyby tak:

- Galileusz: jest absolutny czas, nie ma absolutnej prędkości, $c \rightarrow \infty$;
- Einstein: jest absolutna prędkość, nie ma absolutnego czasu, $c = \text{idem}$ ⁶!

Czy to jest powiązane z ilością zmarszczek na czole, to już inna sprawa...

⁶ Łacińskie *idem* znaczy: jak poprzednio, to samo.

Człowiek

Powstające napięcie ma mniej więcej taką formę: „A zatem jak to jest? Skoro urodziłem się na Ziemi i tu jest mój brat, to w wyniku »sztuczki« z czasem uciekłem czasowi, przecież na Ziemi mija 5000 lat, a u mnie chwila, niemożliwe. Odczyt »błysków« świetlnych to nie to samo co starzenie się!”

Ostatni w tej części problem to kwestia fizjologicznego upływu czasu, warto się tym zagadnieniem zainteresować. Nasz upływ czasu jest mierzony jakimiś niezmiennymi jednostkami o charakterze wewnętrznym, zasadniczo mierzymy go nieodwracalnością zdarzeń i procesów: ilość ziaren piasku przesypanych w klepsydrze, ilość drgań układu rezonującego, długość i siwość brody. Wszystkie te zjawiska to nieodwracalne procesy, które wartościujemy, skalujemy i nazywamy czasem.

Co do pewności, że broda jednego z braci będzie długa i siwa, to jej nie ma! Nikt tego nie sprawdził! Pozostaje nam jedynie „dowód myślowy” nie wprost. Doświadczenia myślowe, które przeprowadzamy, pozwalają jednak wnioskować, iż czas pojmowany przez osobę Placka w osobie Jacka będzie płynął wolniej, a dokładniej Astronauta ma więcej czasu względem Ziemianina. Zatem puls, przyrost włosów, replikacja DNA, mejoza i mitozą w komórkach, wszystko będzie biegło wolniej... Czy na pewno?

Fizyk powie: względem Ziemi na pewno, gdyż inaczej prawa fizyki byłyby zmienne, w zależności od układów inercjalnych. Podstawowym postulatem teorii względności, na którym zbudowane jest całe nasze rozumowanie, jest niezmiennosc praw w układach inercjalnych (czyli obserwatorzy w tych układach nie mogą odróżnić swojej rzeczywistości od innej – zasada względności), gdyby mogli np. po długości przyrastających paznokci, oznaczałoby to wyznaczenie czasu absolutnego mierzonego bezwzględnie, niezależnego od prędkości, sił i pól – od kilku stron staramy się pojąć, że tak właśnie nie jest! Przyrost włosów kosmonauty pozwoliłby jemu obliczyć bezwzględną prędkość statku, a to przeczy fundamentalnemu postulatowi teorii względności.

Dla Ziemianina, względem którego Astronauta się porusza, procesy u Astronauty jawią się jako dłuższe, spowolnione, ale Astronauta nie będzie tego osobiście odczuwał i nie może, gdyż wówczas mógłby dokonać pomiaru prędkości własnej, a ona – jak wiadomo – nie jest bezwzględnie mierzalna. Astronauta nie przeczyta w życiu więcej książek i nie zje większej ilości kotletów. Jego życie dla niego samego biegłoby jego własnym zwykłym tempem, nie uciekłyby śmierci. Ale mógłby zobaczyć Ziemię w roku 5000... Jest to pocieszające – Zasadniczo możemy dolecieć dość daleko, w krótkim czasie pokładowym. A co dzieje się wtedy na Ziemi? Wiemy – wszystko przemija i nic na to nie poradzimy.

Inna wątpliwość: człowiek to układ złożony, jak przebiega starzenie – wiadomo, ale dlaczego, nie wiadomo. To, że protony, elektrony podpadają pod zjawisko dylatacji czasu ich życia, niekoniecznie oznacza, że tak samo będzie zachowywał się układ z nich zbudowany, jakim jest człowiek, w którym zachodzą procesy biologiczne, mające swoje *modus*

*operandi*⁷, zgodne z fizyką ale zdeterminowane... czym, Kim, tego nauki przyrodnicze nie wiedzą.

A zatem może elektrony „żyją” dłużej, ale człowiek, w którym się kręciły, żył będzie i tak swoje 70–80 lat!? Jednak to by obalało podstawowy postulat teorii względności o niewyznaczalności czasu absolutnego i teoria popada w ruinę.

Wcześniej sformułowaliśmy definicję zegara jako układu mającego zdolność do cyklicznego powrotu do stanu wyjściowego po wykonaniu jakiegoś zdarzenia. Człowiek nie spełnia tej definicji, procesy fizjologiczne są nieodwracalne i nie mają cech cykli, rezonansu, tykania etc. Człowiek, jajko wysiadywane przez kurę i żaba nie są (w myśl tej definicji) zegarami.

Wyobraźmy sobie zegar – nie atomowy, który działa na zasadzie rozpadu, emisji i innych zjawiskach atomistyki, ale biologiczny. Czas rozwoju skrzeku żaby z gatunku *Z* wynosi N_i . Dla danej fazy rozwoju *i* zbudowaliśmy układ pomiarowy, umieściliśmy w „centrum” (a gdzie to jest?!) Wszechświata (zbudowaliśmy pankosmiczny system łączności z tym zegarem – tylko jak?!) i nasze żaby są bezwzględny metronomem Wszechświata \Rightarrow koniec teorii względności w formule z 1905 roku.

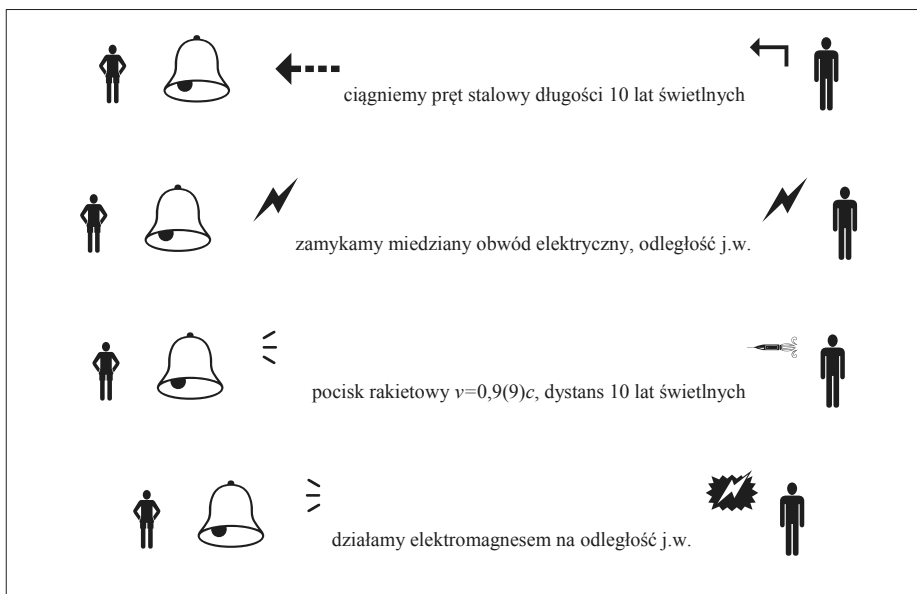
Człowiek musi być zegarem czasu własnego, chyba że jesteśmy wyjątkowi, „poza czasem”, dotyczy nas inny czas niż całej reszty Universum. Zegar mechaniczny, atomowy i każdy inny musi zatem mieć spowolniony obserwowany z Ziemi rytm, czyli spowolniony proces naliczający.

Kończąc spojrzenie fizyczne, warto powiedzieć, że problem bliźniaków jest technicznie nierealizowalny, na razie, daleko nam do maszyn osiągających prędkości bliskie fotonom... Na polu fizyki cząstek elementarnych zagadnienie to jest z kolei codziennością laboratoriów, gdzie np. strumienie protonów są rozpędzane do prędkości przyświatlnych, a wykonywanie obliczeń dylatacji czasu jest laboratoryjną koniecznością przy projektowaniu eksperymentu. W potężnych akceleratorach przyspiesza się cząstki do $v = 0,9955c$. Rozpędzenie ogromnego dzieła inżynierii, jakim jest statek kosmiczny, jak na razie jest nierealizowalne... Osobiście obstawiam, że finalnie to Placek będzie miał długą siwą brodę, a Jacek wciąż szarmancki wąsik...! Po powrocie bracia będą w różnym wieku biologicznym.

Zagadki „utrwalające wiadomości”

Czy i kiedy zadzwonią dzwonki (ryc. 12), który zadzwoni pierwszy? Wszystkie znajdują się obok siebie gdzieś daleko w pustej przestrzeni Kosmosu. Jest dwóch fizyków, jeden przy dzwonek, a jeden 10 lat świetlnych dalej przy różnych urządzeniach uruchamiających dzwonki. Wszystkie włączniki zostają uruchomione w jednym zsynchronizowanym momencie.

⁷ *modus operandi* – sposób działania, (parafrazując) system operacyjny



Ryc. 12. Zagadnienie oddziaływań we Wszechświecie

Źródło: opracowanie własne.

Podpowiedź: Impulsy o prędkości absolutnej c nie potrzebują do propagacji żadnego ośrodka („eteru”). Ale dźwięk potrzebuje, fala na jeziorze także. Prawidłowe odpowiedzi na owe zagadki pozwalają zrozumieć istotę nienatychmiastowości i nierównoczesności oddziaływań w fizyce.

3. Racja filozofa

Ponieważ nagłówek rozdziału mówi o filozofii (co mylnie sugeruje niektórym naukę nieprecyzyjną), nie pojawią się wzory, choć warto zauważyć, że filozofia to jak najbardziej „nauka ścisła”! Często wielu zapowiada zmierzch filozofii, współcześnie to raczej szeroko rozumiana fizyka zaczyna być filozofią, ale pamiętajmy, że filozofia była przez wieki napędem postępu myśli i zbyt wiele jej zawdzięczamy, aby tak od razu ją pogrzebać. Adresatami tego skromnego rozdziału są więc Czytelnicy o filozoficznych zainteresowaniach i skłonnościach..., czyli wszyscy.

Filozof (zwłaszcza ten euroazjatycki) ma zapewne kilka kwestii do roztrząśnienia w przedmiotowej sprawie. Nie znający dobrze fizyki, doszukałby się paradoksu już omówionego wcześniej: skoro dylatacja czasu jest symetryczna, to Jacek jest młodszy od Placka i Placek jest młodszy od Jacka. Ostatni sąd zaiste można by skierować do instancji logiki,

ale... ta kwestia została rozstrzygnięta wcześniej – przez racje fizyczne. Układy nie są faktycznie symetryczne, chociaż relacja dylatacji jest symetryczna.

Oczywiście podstawowym dylematem pozostaje...

Wehikuł czasu

Kolejna dygresja dla filozofii. W tym akurat zagadnieniu nikt nie przeczy odwiecznej zasadzie przyczynowości (owszem, są pola fizyki, gdzie bywa ona nieco pokrętna). Zasada ta wydaje się niezaprzeczalnym zdroworozsądkowym prawidłem świata. A jednak może jest tylko kolejnym zdroworozsądkowym mniemaniem, które – jak wiele podobnych – okazało się wadliwe. Tak więc to niekoniecznie paradoks, ale brak zrozumienia. Od czasu mechaniki kwantowej (a zwłaszcza elektrodynamiki kwantowej) przyczyna–skutek, poprzednik–następnik przestały być niezaprzeczalnymi sekwencjami.

Psychologiczny „paradoks” przyrodzonej zasady przyczynowości w zagadnieniu bliźniąt nie występuje.

Można „podróżować” w czasie tylko na zasadzie jednokierunkowej: ku przyszłości. Jeżeli (dla pewności medyka, a nie fizyka) zahibernowany człowiek ucieknie w statku kosmicznym (o przyświełnych szybkościach) przed ziemskim czasem o np. 30 lat, to wracając z podróży do „do życia”, zastanie opuszczone wcześniej niemowlę w postaci dorastającego 30-letniego mężczyzny. Zdarzenia te jednak są nieodwracalne i ewidentnie powiązane łańcuchem przyczynowo-skutkowym. Nie można już sprawić, aby mężczyzna był niemowlęciem, „duży osesek” nie może się cofnąć np. do daty startu statku kosmiczno-czasowego. Za to 30-latek może rozpocząć teraz swoją podróż kosmiczną i tym razem to on przeczeką w przestrzeni 30 lat, „doganiając” np. swojego rocznego syna, który po powrocie 30-letniego taty będzie miał np. 29 lat ziemskich!

Jestestwa ludzi (bliźniaków) są najprawdopodobniej zegarami mierzącymi czas własny, a na odczyt upływu czasu ma wpływ prędkość ruchu – co stwierdziliśmy jasno. W szczególnej teorii względności nie ma zatem mowy o swobodnie pojmowanej podróży w czasie, lecz jedynie o zjawiskach fizycznych, które choć nie są samowite, to jednak naturalne. Nie jest to przemieszczanie się w czasie, ale względna zmiana tempa jego upływu.

W naukach przyrodniczych jest wiele innych „niezwykłych”, ale przemyślanych koncepcji, np. lustrzanego Wszechświata Diraca czy wielu Czaso-Wszechświatów Everetta. Nie powinny one wzbudzać oporów. Dygresja bardzo osobista: Opory raczej powinny wzbudzać liczne lansowane, nieprzyrodnicze i płytkie „teoryjki”, których ostatnio (a rzekomo cywilizacja postępuje, przecież mamy XXI wiek!, za to bredni więcej niż w I wieku) i na które szkoda głowy, inkaustu i pióra (ale, jak powszechnie widać, nie telewizora).

Od wieków dla człowieka bywa, że najtrudniejszą rzeczą jest opisać świat i siebie takim, jaki jest. Przechabawnym jest, że nawet stojąc przed lustrem, pragnęlibyśmy często, aby światło załamywało się w sposób, który nas wypiękni... Tylko po co? Kosmos jest, jaki jest (wracając aż do arystotelesowskiej i średniowiecznej definicji prawdy: *veritas est adaequatio rei*

et intellectus⁸) i to bez względu na złożone intelektualnie i kulturowo umocowanie naszych (jakże często uwiedzionych) umysłów.

Gnoseologia

Problemem czasów Newtona i wcześniejszych było metafizyczne, a nawet transcendentne rozumienie czasu. Czas – pojmowany kiedyś – to trwanie świata, pewien matematyczny byt, będący rzeczą samą w sobie, nie związaną z niczym. Ponadto zakładanie, że prędkość światła jest nieskończona, było mało przyrodnicze, za to mocno matematyczne, platoniczne... Tak pojmowany czas był typem eteru, w którego biegu zanurzony jest Wszechświat, gdy tymczasem okazało się, że jest bardziej prozaicznie, nie ma wielkości (np. czasu, długości) istniejących absolutnie, w oderwaniu od rzeczy. Są one definiowane tylko i wyłącznie poprzez pomiar dla konkretnego obserwatora. Czas nie jest jednolitym strumieniem taktującym cały Wszechświat jedynym niezmiennym pulsem. Wyobrażenie o czasie absolutnym (metronomie Wszechświata) to nie paradoks, to stan umysłu.

Teoria względności wpłynęła zatem istotnie na zagadnienie pomiaru, czyli także epistemologii. Jeżeli różni obserwatorzy, z różnych układów, patrzą na jedno i to samo zjawisko, to pomiary związanych wielkości względnych dają różne wyniki, informacja o zjawisku dociera do tych obserwatorów w różnej formie. Nie ma pomiaru absolutnego, czyli tzw. prawdy obiektywnej o rzeczy, faktu obiektywnego.

Z metafizycznego rozumienia czasu wynikały również *a priori* założone równoczesności wszelakich zdarzeń. W światło-ogłądzie sprzed 1905 roku nikt nie zadawał wcześniej wprost tak oczywistego pytania: co to są zdarzenia równoczesne i czy aby nasze sądy o jednoczesności zdarzeń nie są błędne? Albo inaczej – cała fizyka sprzed 1905 roku zbudowana była na fundamencie pewności równoczesności zdarzeń ($c \rightarrow \infty$), ale nikt nie pytał o fundament... Było to pojęcie wprowadzone bez namysłu, jako zdroworozsądkowa oczywistość, i jak to często w przyrodzie bywa, nasz zdrowy rozsądek zawiódł. Zauważmy oczywistą słabość tych dogmatów, w przyrodzie każde 0 i ∞ są podejrzane...

Kluczowym pojęciem świata klasycznego jest ciało materialne, bryła w układzie Kartezjusza. Bryły te wypełniają (u Kartezjusza) pustą skrzynkę – przestrzeń, w fizyce Einsteina pojęciem kluczowym jest zdarzenie, coś, co miało miejsce w czasoprzestrzeni (x, y, z, t) . Stosunki w czasoprzestrzeni wyznaczają zdarzenia jako całość, czterowymiarową. Czterowymiarowość ujawniła się natychmiast po zakwestionowaniu absolutności czasu i równoczesności jego biegu dla wszystkich zdarzeń. Ani punkt przestrzeni (Newton), ani niezależny czas (Newton) nie mają fizycznego znaczenia (nie są umocowane w Kosmosie, ale jedynie w błędnych aksjomatach intelektu), znaczenie ma związek czterowymiarowy (Einstein). Ruch w czasoprzestrzeni generuje zdarzenia. Zdarzenie to nieoddzielony czas od przestrzeni (x, y, z, t) , nie zaś ruch punktu (czyli ciąg kolejnych x, y, z) i absolutne samoistne t „gdzieś obok”.

⁸ Sentencja łacińska: prawda jest zgodnością rzeczy i umysłu.

Dystansując się... Wszystko są to i tak operacje na abstrakcjach naszego umysłu. Oczywiście że ludzki umysł zniesie wszystko, ale w niniejszym opracowaniu staraliśmy się zadawać także pytania technika-inżyniera (może nieco uskrzydłonego), a nie aksjomatycznego geometry.

W świetle teorii względności nie da się również odsunąć od siebie (starych dla filozofii) pytań idealistów: neokantyzmu, machizmu i innych (odwiecznych) nurtów kwestionujących obiektywne istnienie (i poznanie) materii i świata. Mocnym zwolennikiem tego myślenia był H. Poincaré, jeden ze współtwórców teorii względności, który jako agnostyk nie rozwinął jej z powodu mniemania, że jest jedynie geometryczną zabawą bez korzyści i celowości dla społeczeństwa.

Nierozsądne jest jednak podejście ujmujące teorię względności jako efekt złudzeń optycznych, miraży czy też geometrycznych igraszek. Teoria ma fizyczny wymiar, odnosi się do pojęć fizyki, jest ponadto empirycznie umocowana. Rozwijając ten nurt pytań, zadajmy jeszcze jedno: Czy wszystkie nasze problemy wynikają z zasad propagacji światła i tego, że obserwacja jest oddziaływaniem elektromagnetycznym (czyli z graniczną prędkością rozchodzenia się $= c$) pomiędzy układami? Czas staje się wówczas parametrem sygnału, o czym wielokrotnie mówiliśmy.

A gdyby tak znaleźć inne oddziaływanie, szybsze od światła, inny rodzaj nośnika wiedzy – problemy nie znikną, pojawią się nowe, będziemy mieli tylko inną prędkość absolutną $> c$ – to nic nie zmieni. Nasz świat jest światem oddziaływań połowych. Aby zlikwidować relatywizm poznawczy, należałoby odkryć oddziaływania natychmiastowe, sposoby przesyłania i rejestracji danych bez zwłoki – temu przeczy całe dotychczasowe doświadczenie przyrodnicze.

Aby mówić o fizyce, a nie metafizyce, niezbędne jest zdefiniowanie pojęć fizycznych, mierzalnych wielkości, między którymi poszukujemy związków. Oczywiście jest, że to właśnie w zjawiskach elektromagnetycznych odnaleziono niezmienniki (poszukiwane od starożytności poprzez Abelarda i dalej), wielkości, które pozwalają przypisać pojęciu czasu (umocować je) znaczenie fizyczne.

4. Racja logika

*Logicus purus asinus est*⁹.

Faktycznie pseudo-paradoks bliźniąt rodzi się z nieprawidłowego sformułowania problemu, wtedy może stać się – pozornie – paradoksem w sensie logicznym. Chociaż nie jest to paradoks klasyczny (jak np. u Zenona z Elei), gdzie własność tworząca paradoks („paradoksalna”) jest immanentną, stanowi o jego istocie i zarazem jest kluczem rozwiązania, myślową pułapką, ale z wyjściem.

⁹ Średniowieczna sentencja łacińska: czysty logik jest osłem.

Zasadniczo po poprzednich rozważaniach logik-metodolog nie będzie miał zbyt wiele pracy do wykonania w kwestii paradoksu. Co najwyżej można przeanalizować semantykę wypowiedzi. Mit paradoksu został odmitologizowany i paradoks okazał się „paradoksem”, ten zaś – błędnie stosowanym pojęciem. Antynomii i paradoksów wewnątrz teorii brak.

Typowym, ale częstym, błędem poznawczym jest nierozróżnianie zbudowanego modelu matematycznego od realnej fizyki. Model odnosi się do abstrakcji matematycznej, która na wszystko (w ramach matematyki) pozwala, dopuszczając warianty: $c \rightarrow \infty$ i $v = c$. Interesuje nas zatem niezwykle sens matematyczny zbudowanego modelu, ale kiedy go zbadamy, to ostatecznie interesuje nas jego sens fizyczny. Poznając przyrodę, zawsze musimy rozróżniać sens matematyczny od fizycznego, dopuszczalne granice interpretacji wyznacza eksperyment, świat, a nie abstrakcja matematyki.

W niniejszej publikacji autor pragnął zrealizować alternatywne do typowego podejście. Zazwyczaj opracowania tego typu są albo dogmatycznie formalne („niech będzie”, „dane jest”, „istnieje taki, że” – znamy to...) albo fantastyczno-baśniowe („Star Trek 10²⁴”). Z jednych i z drugich niewiele wynika. Owszem, do niniejszego skromnego opracowania przydałaby się może bardziej rozbudowana część formalna (która jednak jest w stosownych opracowaniach), tutaj było jedynie kilka elementów. Ale i formalne zagadnienia potrzebują alternatywnego podejścia. Podręczniki za mało mówią o sensie „tego wszystkiego”, wchodząc natychmiast na wysokie obroty aparatu matematycznego (stosowanego często nieadekwatnie do potrzeb), epatując równaniami. Tylko po co, skoro sens fizyczny owego zagadnienia jest kluczem, a nie zasypanie problemu toną wzorów i tłumaczenie niezrozumiałego przez bardziej abstrakcyjne. Od pewnego momentu czytania takich pozycji Czytelnik realizuje już tylko igraszkę matematyczną, nie zastanawiając się, czy to wszystko ma sens i jaki... Czy aby nie jest to, co właśnie powstało, jedynie artefaktem matematyki? Matematyka jest potrzebna, nic lepszego nie wymyślono, ale trzeba z nią ostrożnie. Bo jest ona jedynie w naszych umysłach, a nie w Kosmosie. Foton nie zna elektrodynamiki kwantowej, a jednak „leci”, bocian nie zna aerodynamiki i równań różniczkowych, a jednak „leci”...

Brak wiedzy to nie paradoks. Wiele paradoksów w toku historii nauki rozpadło się, były jedynie etapem niewiedzy. Może one nie istnieją, bo rzeczywistość Kosmosu istnieje i nie rozpada się, rozpadają się za to nasze często nieudolne modele.

Na dzień dzisiejszy tak widzimy świat, może jutro będzie inaczej, jest kilka punktów, które dają podstawy do krytyki omawianej tutaj teorii (co nie było celem autora, celem było ukazanie postaci będącej dzisiaj kanonem), ale na razie trzyma się ona w miarę dobrze na pozycjach.

Zapewne formuła teorii przedstawiona w niniejszym artykule kiedyś całkowicie ustąpi miejsca bardziej pogłębionej analizie naszego świata, w końcu ma ona już 107 lat!

Piśmiennictwo

- Acosta V., Clowan C.L., Graham B.J., *Podstawy fizyki współczesnej*, PWN, Warszawa 1987.
- Einstein A., *Istota teorii względności*, PWN, Warszawa 1958.
- Infeld L., *Albert Einstein*, PWN, Warszawa 1984.
- Jeżewski M., *Fizyka*, PWN, Warszawa 1970.
- Laue M. von, *Historia fizyki*, PWN, Warszawa 1957.
- Rogers E.M., *Fizyka dla dociekliwych. Cząsteczki i energia*, PWN, Warszawa 1967.
- Schutz B.F., *Wstęp do ogólnej teorii względności*, PWN, Warszawa 1995.
- Słownik wyrazów obcych*, PWN, Warszawa 1980.
- Szymacha A., *Szczególne teoria względności*, Wydawnictwa „Alfa”, Warszawa 1985.
- Ugarow W.A., *Szczególne teoria względności*, PWN, Warszawa 1985.

ABSTRACT

The gemini paradox

The publication contains the basic description of the key questions of the Albert Einstein (1879–1955) theory. The popularization of physics is aim and the intention of that essay, as the fundamental natural science. The basic conceptions of the Einstein: Lorentz's transformation and the remaining aspects of the time dilatation were showed. The problems of the philosophy was also marked: natural thinking and phenomena analysing. Essential of science is from the point, which the man did not form in the own mind, but which his critical mind perceived in the nature.

Key words: popular the science, relativity of Albert Einstein, Lorentz's transformation, trip in the time, gemini paradox.